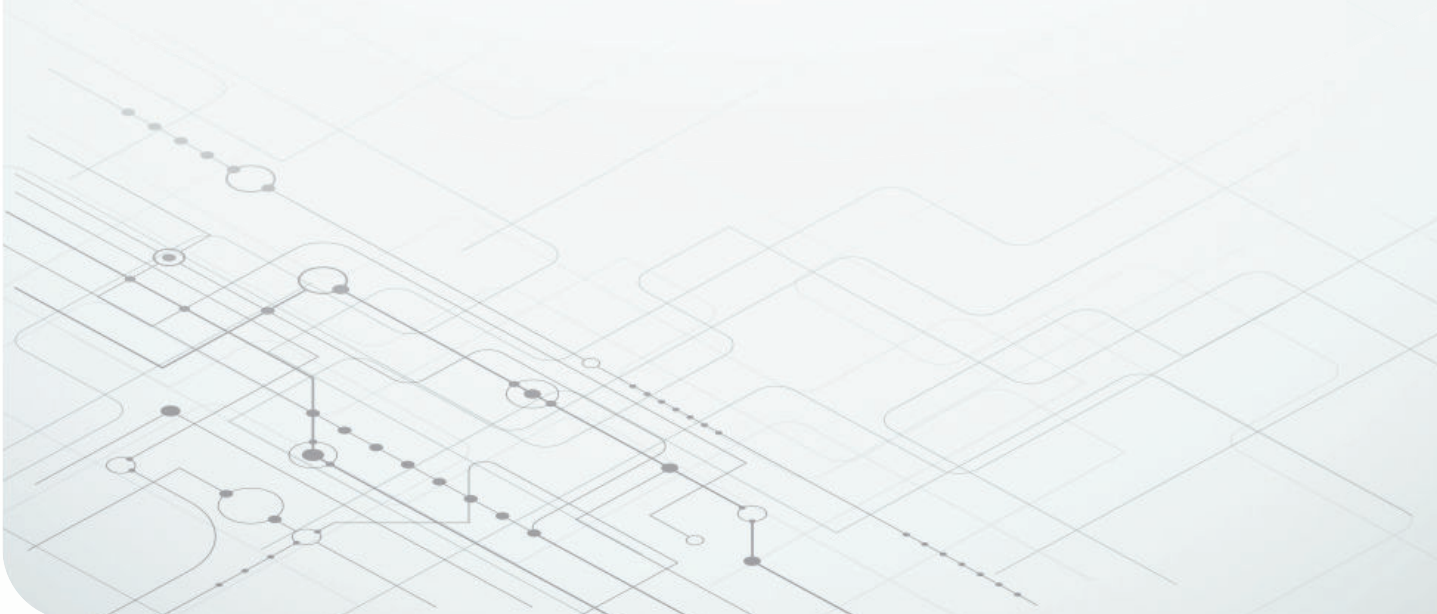


より安全で、よりスマートで、よりコネクテッドなバッテリー管理システムの設計



Dag Grini
Issac Hsu
Jordan Jennifer
Bryan Marshall
Mike Pienovi
Andreas Schaefer



概要

車両アーキテクチャは、より集中処理化され、よりスマートなシステムへとトレンドが変化しており、これらのシステムに搭載される半導体技術も進化する必要があります。本書では、ハイブリッド電気自動車 (HEV) や EV パワートレインの構造に変化をもたらしているトレンドと、バッテリー管理システム (BMS) 関連の技術が、より安全でスマートな車両の要件に対応するためにどのように変化しているかを検証します。



1

ドメイン制御とゾーン制御に進化するパワートレイン

ドメイン アーキテクチャとゾーン アーキテクチャへの移行、およびシステム設計と半導体技術への影響について理解します。



2

BMS 内のインテリジェンスを実現する技術：マイクロコントローラ

より安全でスマートな BMS への移行がもたらす、マイクロコントローラ技術、通信インターフェイス、バッテリージャンクション ボックスの各設計の進化を確認します。



3

デジタル ツイン、機械学習、フリート管理

インテリジェントなバッテリーのデジタル ツインなどのトレンドをけん引する機械学習アルゴリズムがどのように応用できるかを説明します。

安全性、利便性、カスタマイズへの消費者の期待の高まりに牽引され、今や最新の自動車はソフトウェア中心の変革期を迎えています。スマートフォンが携帯電話の役割と意味を再定義したように、ソフトウェアで定義された車両は、車両のハードウェア アーキテクチャを再定義し、運転者が自動車に求める機能を柔軟に選べるようにしています。

今や自動車メーカー各社は、車両のハードウェア アーキテクチャとソフトウェア アーキテクチャを再構築する機会を手に入れているのです。パワートレインドメイン制御やゾーン制御のアーキテクチャへの移行から、よりインテリジェントな半導体技術

によって実現される、よりスマートなシステムの設計やマイクロコントローラ数の削減に至るまで、車両内のさまざまなサブシステムにおいて、ソフトウェア定義自動車が及ぼす影響を実感できます。

「**バッテリー管理システムの技術革新がもたらす EV の普及**」では、バッテリー管理システム (BMS) のアーキテクチャと重要なサブシステムについて検証しています。ソフトウェア定義自動車への移行というトレンドが、HEV や EV の BMS にどのような影響を及ぼすかについて詳細に説明しています。

ドメイン制御とゾーン制御に進化するパワートレイン

従来、設計者は、センサやアクチュエータにさらなるインテリジェンスが必要な場合、車両設計にマイクロコントローラを追加し、いっそう複雑な制御や通信の必要性を生み出してきました。しかし、異なる車両プラットフォームでさらに複雑なオプションを組み合わせると、車両システムの記述が複雑になり、開発工数が高くなり、メンテナンスも困難になります。たとえば、ワイヤレス更新では、すべての構成に対してテストが必要であり、そのプロセスにかなりの時間と複雑さをもたらしました。

複雑さ、重量、コストの課題を解決するために、ドメイン制御とゾーン制御のアーキテクチャ概念が生まれたのです。これらの異なるアーキテクチャが車両内のサブシステムに求めるものを見てみましょう。

ドメイン アーキテクチャでは、関連する機能に基づいて各ドメインが特定の電子制御ユニット (ECU) を集約します。たとえば、図 1 に示すように、オンボード チャージャ、DC/DC コンバータ、トラクション インバータ、BMS は HEV/EV 制御ドメインに含まれ、単一の集中型マイクロコントローラを共有します。これにより、分散して存在するマイクロコントローラの数減らし、機能を近接させてインターフェイスを簡略化するとともに、同一の機能を単一のマイクロコントローラに集中させることでコンピューティング リソースの共有が可能になります。たとえば、OBC とインバータは同時に動作することではなく、代わりに計算能力を共有することになります。

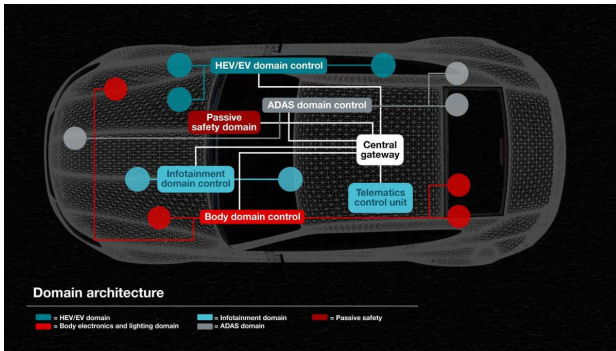


図 1. ドメイン制御アーキテクチャ

ゾーン アーキテクチャは、ドメイン制御の考え方をさらに一歩進めたもので、図 1 に示すように、車両内の位置に基づいて、ゾーンごとに機能をまとめて、マイクロコントローラで制御します。複数のゾーンに分散して存在するセンサやアクチュエータは適時通信を必要とするため、各ゾーンは高帯域通信バックボーンで接続されています。ゾーン アーキテクチャを採用すると、必要なマイクロコントローラの数を削減すると同時に、配線ハーネスの複雑さや重量を軽減し、さらなるコスト節減と航続距離の延長が可能になります。ハードウェアとソフトウェアの更新サイクルは切り離されるので、自動車メーカはサービスベースのソフトウェア構造に移行することができます。

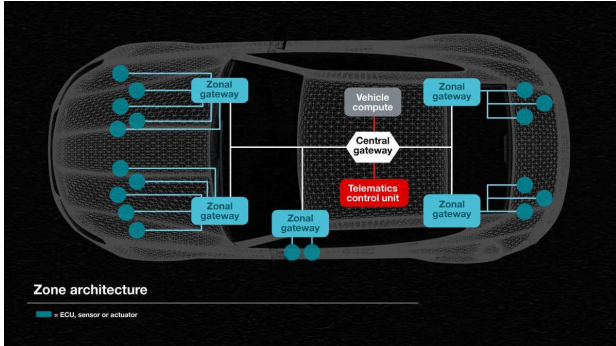


図 2. ゾーン制御アーキテクチャ

ドメイン アーキテクチャとゾーン アーキテクチャにはそれぞれ異なる利点と課題がありますが、クロスオーバー アーキテクチャ内では同じ車両内に共存することもできます。たとえば、自動運転支援システム (ADAS) がゾーンを活用すると同時に、BMS はドメイン制御アプローチを使用することができます。パワートレインからドメイン制御アーキテクチャやゾーン制御アーキテクチャへの転換は、多くの場合、機能の安全性やシステムの機動性において具体的な課題に対処した後で行われます。マイクロコントローラの機能をできるだけ集中化さ

せようという当初の理念に従うと、BMS は洗練されたインターフェイスまたは標準化されたインターフェイスを経由して通信しなければならない、エッジ側でのマイクロコントローラのインテリジェンスはないことになります。このタイプの実装は、マイクロコントローラの数削減するという目標に合致しています。

ところが、セルやパックの高電圧チップセット データ (電圧、電流、温度の測定値および関連する安全対策) が未加工データとして転送されるため、技術的な課題が生じます。フォルト検出時間間隔、フォルト応答時間間隔、安全状態は厳密に定義されているため、インターフェイスで利用可能な帯域幅を詳細に観察して最適化する必要があります。また、ゾーン制御マイクロコントローラまたはドメイン制御マイクロコントローラには、特定の時間間隔内で処理するために厳格なタイム スロットが必要になります。図 3 は、BMS 内の組み込みシステム アーキテクチャの比較を示したものです。

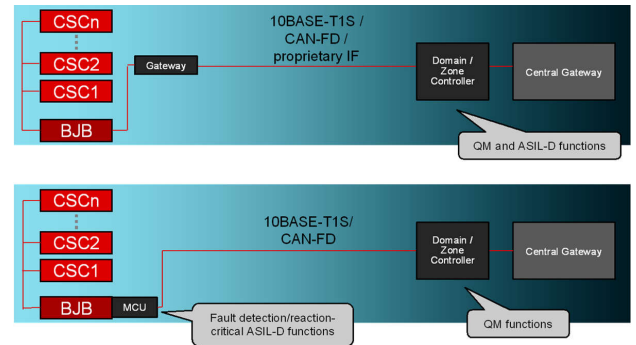


図 3. BMS 内の組み込みシステム アーキテクチャの比較

高電圧チップセットにさらにインテリジェンスを搭載したり、BMS のエッジで、たとえばスマート バッテリー ジャンクション ボックス内に小型セーフティー マイクロコントローラを追加したりすると、課題はよりシンプルになります。機能の安全性対策にローカルで対応することで、BMS 内ではタスク以外のデータが送信されることはありません。エッジ側のローカル セーフティー マイクロコントローラは、基盤となる未加工データの代わりに、ローカルで取得した OK/nOK データを集中型マイクロコントローラに送信することで、タイミングと帯域幅に関する課題を大幅に軽減します。

このアプローチは、マイクロコントローラの数削減するという当初の意図とは矛盾しますが、より多くの利点をもたらすものです。ローカル マイクロコントローラは、コントローラ エリア ネットワーク フレキシブル データレート (CAN-FD) やイーサネ

ット 10BASE-T1S のような標準化されたインターフェイスを使用できるようにし、さらに、パックのマルチ ソーシングや、クロス ビークル、クロス プラットフォーム、クロス ジェネレーションの互換性を有効にする、統一された抽象化レイヤを導入することができます。

これらのアーキテクチャをサポートし、よりインテリジェントなシステムを実現する BMS 内の技術についていくつか説明しましょう。

BMS 内のインテリジェンスを実現する技術: マイクロコントローラ

最も基本的なレベルとして、マイクロコントローラは BMS 内で主に 2 つの役割を担っています。それは、センサに接続してデータを受信し、その情報を車両ネットワークに伝達することです。これら 2 つの機能によって、機能の安全性と、充電状態などの重要な診断情報が BMS にもたらされます。今日のマイクロコントローラは、より高度なセンシングとコンピューティング、より高度なネットワークングが求められるため、これら 2 つの主な機能の両方においてより高いレベルに達しています。先進的なマイクロコントローラによって、バッテリーから車両の他の部分に高品質のデータを送信できるようになり、車両内で起きていることをより正確に把握できるようになりました。

BMS 内のマイクロコントローラ動作に関する高度なシナリオを見てみましょう。バッテリーの有用性を最大限に引き出すのに必要なインテリジェンスを処理する複雑なアルゴリズムが求められるため、計算能力が増大しています。バッテリーのサイズが大型化すると、測定が必要な個々のセルの数も増えます。電圧レベルが高くなり、バッテリー内に蓄えられる全体的な電力も高くなります。これらはいずれも、これまで以上に多くの信号が入力されることを意味しており、車両アーキテクチャがドメイン制御からゾーン制御に移行するにつれて、マイクロコントローラのパッケージ サイズの大型化と、入出力数の増加が必要になることを示しています。

このような高度なアルゴリズムやセンシングのニーズに関する要件を満たす 1 つのアプローチとして、コア コンピューティングのパフォーマンスを向上させることが挙げられます。従来のマイクロコントローラは、シンプルな電流と電圧の測定や温度の測定を行う BMS において、シングル コアで 100 MHz

で動作できたかもしれません。今では、最大 1GHz で動作するマルチコア デバイスがあり、システム内で計算し、動作することができます。設計者は、デジタル信号プロセッサとフィールド プログラマブル ゲート アレイを活用して、大幅に高速化された計算エンジンを構築することができます。テキサス・インスツルメンツの Arm® Cortex® ベース 32 ビット マイクロコントローラ製品ラインアップは、高性能で電力効率の優れたデバイスを取り揃えており、システムのニーズに応えることができます。

バッテリー ECU から他の車両部分への通信も、ますます複雑になっています。システムは診断を行ったり、予測機能や、バッテリー負荷に応じてタスク タイプを切り替えるなどの動的な変更を行う必要があるかもしれません。たとえば、車両が高速走行している場合、バッテリーは全負荷の状態になります。このような場合に、診断やセルの更新などのタスクを実行するのは非効率的です。ところが、車両の充電中は、これらのタスクを実行して、ワイヤレスまたはイーサネットのようなプロトコルで有線通信して、車両ネットワークにデータを送り返すための時間とシステム帯域幅が確保できます。この場合、従来の CAN や CAN-FD バスに比べてはるかに高いデータ レートを実現できます。バッテリー内のモジュール化の程度に応じて、BMS 内でも通信が必要になることがあります。

BMS 内のマイクロコントローラにとって最も重要な基準は、機能の安全性を確保することです。ネットワークング レベルがますます向上しているため、セキュリティの重要性も高まっています。マイクロコントローラは、システムの安全性要件とセキュリティ要件を満たすために、車載安全性インテグリティレベル (ASIL) D をサポートし、ハードウェア セキュリティ モジュールを内蔵する必要があります。AM263P4-Q1 マイクロコントローラなどのデバイスはマルチコアであり、高度なネットワークング用のペリフェラルを備え、センシングとアクチュエーションの IP の品質も高く、コンピューティングに適した非常に高い動作周波数を持っています。また、マイクロコントローラは、安全性の向上と開発期間の短縮を促進するために、オートモーティブ オープン システム アーキテクチャ (AUTOSAR) など、オープンで標準化された車載ソフトウェア アーキテクチャをサポートする必要があります。

BMS 内でインテリジェンスを実現する技術:ワイヤレス機能

ワイヤレス BMS のエッジ処理への統合は、極めて重要な進歩として位置づけられています。計算プロセスをエッジ側にプッシュすることで、リアルタイムの意思決定の強化、待ち時間の短縮、車載システム全体のパフォーマンスの最適化が実現されます。

集中型 ECU へのデータ送信の必要性を最小限に抑えることで、応答時間が短縮されます。これは、適応型のバッテリー管理や動的なエネルギー分配のように、即時フィードバックが必要なアプリケーションにとって非常に重要です。ワイヤレス BMS はエッジコンピューティングを活用して、バッテリーの状態、使用パターン、環境要因に関するリアルタイム分析を実行できます。このようなデータを活用することで、システムを瞬時に適応させてバッテリー性能を最適化し、さまざまな条件下で車両が最も高い効率で動作できるようになります。また、重要なデータをローカルで処理することで、重要な情報を拡張ネットワーク経由で送信する際のサイバー脅威に対する脆弱性も低減されます。

図 4 に示すテキサス・インスツルメンツのソフトウェア定義無線ソリューションは、従来のケーブルによる制約をなくして、ソフトウェア定義車両の複雑なアーキテクチャ内で、よりクリエイティブで効率的な統合を可能にしています。

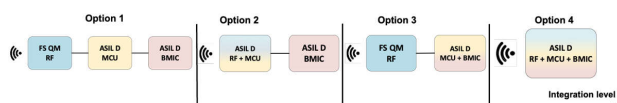


図 4. ワイヤレス BMS 向けのソフトウェア定義無線ソリューションの統合レベル

ワイヤレス BMS は、変化する車両構成に動的に適応できます。バッテリーパックの進化に伴って、ワイヤレスアプローチは、更新や変更をシームレスに統合し、これらのシステムに将来性のあるソリューションをもたらします。ワイヤレス BMS には、セキュアな通信プロトコルや、多層にわたる冗長性などの先進技術も組み込まれており、システムの信頼性が強化されています。

BMS 内でインテリジェンスを実現する技術:インテリジェントなジャンクション ボックス

インテリジェントなバッテリー ジャンクション ボックスは、電圧、電流、絶縁抵抗パック モニタを使用して、バッテリー内の高電圧を直接測定することができます。標準的なパック モニタには電圧と電流の測定チャンネルが複数あり、ヒューズやコンタクタ間の電圧を測定したり、絶縁状態をチェックすることができます。図 5 は、バッテリー ジャンクション ボックスのシステム簡略図です。

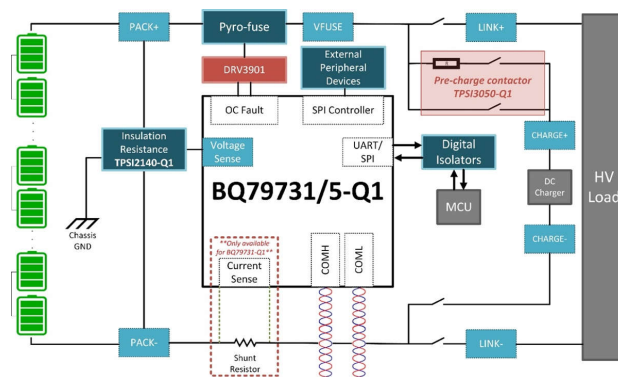


図 5. 簡略化した BJB システムのブロック図。

バッテリー管理システムには、バッテリーの接続解除と配電という 2 つの重要な機能があります。インテリジェントなバッテリー ジャンクション ボックスには、コントラクタードライバとパイロ ヒューズ スクイブドライバのデジタル制御が組み込まれており、衝突時にバッテリー パックを EV システムから切り離します。

高電圧バッテリーの接続解除には、溶断ヒューズまたはパイロヒューズのいずれかを使用します。車両内の高電流システムによって新たな条件がもたらされるため、自動車市場では、過電流温度イベントによってトリガされる従来型の溶断ヒューズから、マイクロコントローラ / ハブを介してトリガされるパイロヒューズへと移行しています。今日、パイロヒューズは複雑なディスクリート回路によって駆動されており、この回路が効率を低下させる原因となっている可能性があります。テキサス・インスツルメンツの車載用 EV パイロヒューズ配備用のシングルチャンネルスクイブドライバ DRV3901-Q1 は、従来の溶断ヒューズシステムの代わりに、バッテリーを素早く過電流から切り離すパイロヒューズを用いて、高度に統合された安全性の高いソリューションを提供しています。

高電圧パワー ディストリビューション コントラクタも高電流に対応する必要がありますが、選択肢は限定されており、高価であるか、過度に複雑であるかのいずれかのみになります。省電力タイプのコントラクタには高抵抗エコノマイザ コイルが追加されており、コントラクタが励磁されている間に電流消費と熱の発生を抑えることで、主なコントラクタの効率を向上させるために使用されます。このような省電力タイプのコントラクタは、システム効率を改善させるソリューションのように聞こえますが、現在利用できる選択肢は限られており、多くの場合、コストがかかりすぎます。対照的に、非省電力タイプのコントラクタはこのような追加コイルを持たないため、コストを削減できますが、安全性と効率の基準を満たすためには、より複雑なディスクリット回路で駆動する必要があります。テキサス インスツルメンツは、非省電力タイプのコントラクタの駆動に不可欠な回路の複雑さとコストを削減し、同時に効率と堅牢性を向上させるために、統合型デュアル チャネル コントラクタドライバ **DRV3946-Q1** を開発しました。これによって、設計者はより自由で柔軟な設計が可能になります。

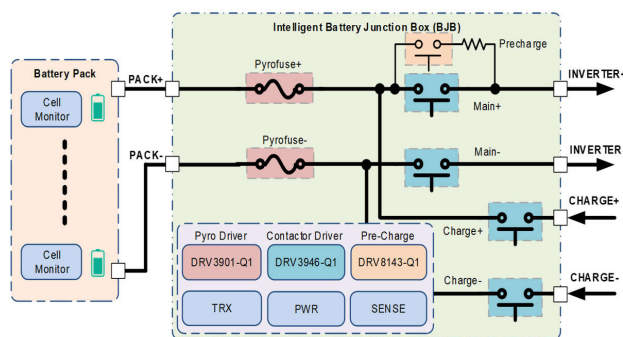


図6. BMS 内の大電力用バッテリーの接続解除と配電

バッテリー パックは、パック モニタによって制御される機械式コントラクタを使用して、車両全体のサブシステムを接続または切断します。機械式高電圧コントラクタは、制御されていない突入電流が発生した場合に、アーク放電や穴を通じて溶着または損傷が発生する可能性があります。『高電圧システムでプリチャージ回路が必要な理由』では、**TPSI3050-Q1** 絶縁型スイッチドライバを使用して、車載用バッテリー ジャンクション ボックスのプリチャージ用に信頼性の高いソリッドステート リレーを形成する方法を説明しています。インテリジェントなバッテリー ジャンクション ボックスの場合、**TPSI3100-Q1** をこのようなプリチャージ アプリケーションに実装し、統合された絶縁コンパレータとフォルト報告出力による診断機能をさらに強化するこ

とができます。これらの機能を過電流や温度の監視回路と組み合わせることで、このような故障検出回路が、**TPSI3100-Q1** 経由で確実に情報をフィードバックし、これらすべてのイベントをパック モニタに報告できるようにします。

高電圧バッテリー パックの正端子と負端子の両方を車両のシャーシから十分に分離し、運転者や技術者を感電から保護する必要があります。この分離の定期的な監視は、絶縁チェックまたは絶縁抵抗監視と呼ばれます。**TPSI2140-Q1** などのソリッドステート リレー は、未知の抵抗値 (バッテリー端子とシャーシ グランドの間) と並列に、既知の抵抗値 (1MΩ など) を接続および切断します。**BQ79731-Q1** などのパック モニタを使用して合成抵抗を測定することで、バッテリーの切り離しが許容範囲内であるか、潜在的なリスクがあるかどうかを判断できます。

デジタル ツイン、機械学習、フリート管理

技術革新は、BMS 内のソフトウェア実装でも起こっています。カルマン フィルタやクーロン カウントよりも高度な State-of-X (SoX) アルゴリズムの基礎となるのが、取得したパックとセルの測定精度です。

運転行動、交通状況、地理的条件、道路状況を個別に監視できるので、より正確な車両航続距離の予測、バッテリーの健全性状態データおよび充電状態の推定が可能になります。データをクラウドに集中させれば、機械学習アルゴリズムを使用して車両全体を監視し、予測サービスを実現することができます。たとえば、ある故障パターンが以前に観察され保存されていた場合、アルゴリズムはその兆候を早期に検出し、他の車両の将来的な故障の可能性を計算することで、事前対応的にサービス入庫を依頼できるのです。デジタル ツインの作成で知られるこの機能によって、ソフトウェア定義車両における一時的な車両航続距離のアップグレードなど、新たなビジネス モデルやサービスの展開が促進されます。

テキサス インスツルメンツの **AM263P4-Q1** Arm ベースの AutoSAR 対応マイクロコントローラには、適応型セル モデリング システムを使用できるライブラリが搭載されており、機械学習サービスによってフリートや車両の State-of-X (SoX) 測定を強化し、よりスマートな充電とバッテリーの健全性、航続距離の最適化を実現します。

まとめ

BMS は、数ある斬新で革新的なコンセプトの中核をなすものです。テキサス・インスツルメンツのデバイス ソリューションは BMS 製品ラインアップ全体に対応しており、システム全体の利点を引き出すことができます。これによって、よりスマートで、より安全で、よりコネクテッドな車両を実現できます。

その他の資料

1. 電気自動車向けのインテリジェントなバッテリー管理の詳細
(<https://www.ti.com/applications/automotive/hev-ev-powertrain/overview.html#BMS>)
2. ハイブリッドシステム、電気システム、パワートレイン システムの各リファレンス デザイン(<https://www.ti.com/reference-designs/index.html#search?applied=209,84,235167>)

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated